

Aalborg Universitet



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Notat vedrørende: Laster på bærende konstruktioner

Hansen, Lars Pilegaard

Publication date:
1975

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Hansen, L. P. (1975). *Notat vedrørende: Laster på bærende konstruktioner*. Aalborg Universitetscenter.

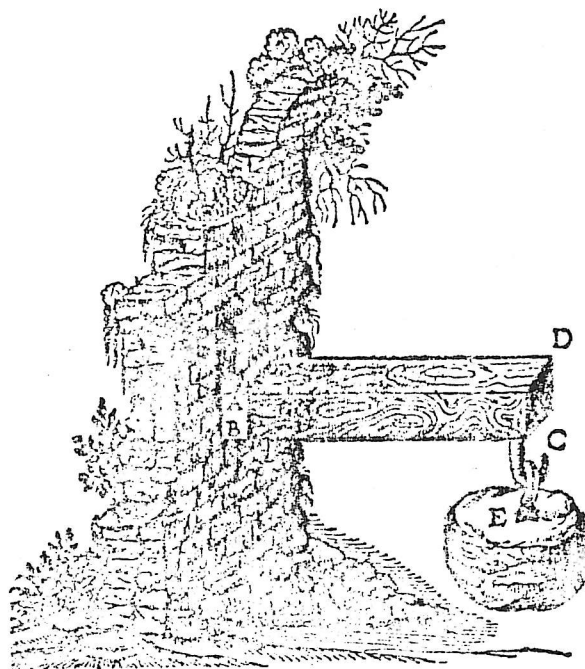
General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Galilæis bjælke - styrkelærens mest klassiske billede.

Notat vedrørende

LASTER PÅ BÆRENDE KONSTRUKTIONER

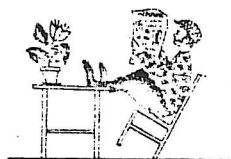
L. Pilegaard Hansen

Indhold:

1. Indledning	1
2. Permanent last	4
3. Nyttelast	5
4. Naturlast	7
5. Vindlast	9
6. Ulykkeslast	10

LASTER PÅ BÆRENDE KONSTRUKTIONER

1. INDLEDNING



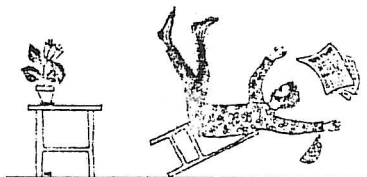
(a)



(b)



(c)



(d)

Figur 1. Hr. Skovlunds avislæsning (a) vanskeliggøres på grund af brud (b), store deformationer (c) eller instabilitet (d).

Ved bærende konstruktioner skal her forstås bygninger, broer, tårne, master, dæmninger m.v., altså faststående konstruktioner. Karakteristisk for disse konstruktioner er, at de med rimelighed i de fleste tilfælde kan regnes at være påvirket af statiske laster, dvs. laster, som er konstante eller varierer meget langsomt med tiden. Laster, som varierer hurtigt med tiden, benævnes dynamiske laster.

Til enhver bærende konstruktion knytter sig mange problemer. Her skal nævnes to hovedproblemer, hvis løsning er helt afgørende for konstruktionens brugelighed:

1. konstruktionens styrkeforhold
2. konstruktionens stivhedsforhold.

Disse to problemers løsning afhænger i høj grad af kendskabet til de laster og andre påvirkninger, som konstruktionen i dens levetid udsættes for.

Det er ingeniørens opgave at sørge for, at konstruktionens styrke- og stivhedsforhold er i orden, se figur 1. Konstruktionen skal være sikker, fordi brud (med eventuel efterfølgende sammenstyrtning) for det første kan koste menneskeliv og for det andet oftest har store økonomiske konsekvenser. Samfundet stiller derfor krav til størrelsen af de laster, konstruktionen skal beregnes for.

Gældende for bygninger står der således i »Bygningsreglementet» (1972), afsnit 5.2, stk. 1, bl.a., at

»Bygningskonstruktioner skal dimensioneres på grundlag af Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner:

a. Belastningsforskrifter, DS 410

.....
.....»

I DS 410 finder vi følgende:

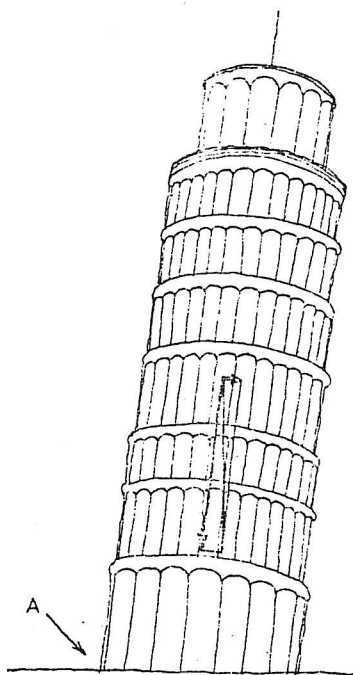
Gyldighedsområde

Enhver husbygning- eller brokonstruktion skal beregnes for de nedenævnte belastninger, for så vidt der ikke påvises nøjagtigere værdier eller kræves supplerende belastningsforskrifter.

For vandbygningkonstruktioners vedkommende henvises til DS 415: Normer for Bygningskonstruktioner, afsnit 6, fundering og jordtryk.

For andre konstruktioner end de ovenfor nævnte, f.eks. kraner, master og lignende, bør de nærværende belastningsforskrifter følges, så vidt det er gørligt; de for sådanne konstruktioner specielle belastninger må fastlægges i hvert enkelt tilfælde.

Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner (der findes en lang række for forskellige materialer og konstruktioner/konstruktionselementer) har således status som lovgrundlag. Det skal dog bemærkes, at der i flere normer står, at man kan afvige fra normens krav, såfremt det kan dokumenteres, at afvigelsen er forsvarlig.



Figur 2. Det skæve tårn i Pisa.

Belastningsforskrifterne, DS 410, er i øjeblikket (februar 1975) til revision, idet der arbejdes med en ny udgave: »Lastforskrifter, DS 410». Hvornår denne udkommer, godkendt og gældende som norm, kan ikke siges på nuværende tidspunkt (størrelsesorden 1-2 år). Det følgende er knyttet til det forslag, der foreligger i øjeblikket (Normforslag 13, september 1974), og som i det følgende benævnes forslaget, mens den nugældende norm benævnes DS 410. Det skal dog udtrykkeligt bemærkes, at det er Belastningsforskrifter, DS 410, 1. udg., marts 1945, som i dag er gældende norm, og som derfor for øjeblikket skal anvendes i praksis. Anvendelse af forslaget sker på eget ansvar.

Endvidere henledes opmærksomheden på, at den nugældende DS 410 gælder både for husbygnings- og brokonstruktioner, mens forslaget (bortset fra vindlasten) er beregnet til anvendelse for bolig-, kontor-, landbrugs- og industribyggeri. (For andre konstruktioner anføres dog, at forslagets forskrifter så vidt muligt bør benyttes).

Påvirkningerne på en bygningskonstruktion kan opdeles i følgende grupper:

Permanent last (hvilende belastning) omfattende vægt af konstruktionsdele (egenvægt) og jord.

Nyttelast (bevægelig belastning) omfattende vægt af personer, møbler og inventar, maskiner, oplagrede varer, køretøjer m.v.

Naturlast (excl. vind) omfattende snelast, vandret masselast, temperaturpåvirkninger, eftergiven af understøtninger (se figur 2).

Vindlast

Ulykkeslast omfattende påkørselslast og eksplosionslast.

Lasternes størrelse kan langt fra fastsættes med samme nøjagtighed. Generelt må man sige, at de permanente laster kan bestemmes med størst nøjagtighed.

I det følgende vil nogle af ovennævnte laster og påvirkninger blive yderligere omtalt, men først skal nogle kommentarer knyttes til foranstående.

En bærende konstruktion skal dimensioneres således, at der er en vis sikkerhed for, at den ikke bryder sammen. Alle styrkeberegninger går ud på at bestemme virkningerne af de laster, som konstruktionen påvirkes af, og sætte disse virkninger i forhold til materialegenskaberne. Det er derfor muligt at knytte sikkerhedskoefficienter både til laster og materialegenskaber.

Det danske normområde er (eller er ved at blive) indrettet efter det såkaldte partialkoefficientsystem.

Uden at gå i detaljer med sikkerhedsproblematikken skal følgende anføres vedrørende partialkoefficientsystemet.

For en last eller materialegenskab fastsættes en karakteristisk værdi.

Til en last eller materialegenskab knyttes en partialkoefficient (oftest ≥ 1).

For en last bestemmes en regningsmæssig værdi ved at multiplisere den karakteristiske værdi med partialkoefficienten.

For en materialegenskab bestemmes en regningsmæssig værdi ved at dividere den karakteristiske værdi med partialkoefficienten.

Dette partialkoefficientsystem er af ret ny dato (første gang benyttet i DS 415, Fundering, 1. udg., april 1965). Tidligere benyttede man det såkaldte »de tilladelige spændingers princip», som kan siges at være et specialtilfælde af partialkoefficientsystemet, idet alle partialkoefficienter på lasten var 1. Til gengæld var partialkoefficienter for materialegenskaber større end de efter det nuværende partialkoefficientsystem gældende.

Bortset fra konstruktionens egenvægt, som altid er til stede, virker mange laster kun i et vist tidsrum. Konstruktionen kan således til forskellige tidspunkter være påvirket af et skiftende antal laster. Det er således nødvendigt at betragte forskellige lastkombinationer, og det er ingeniørens opgave at finde den farligste kombination. Oftest foreskriver normerne, hvilke lastkombinationer konstruktionen skal undersøges for.

Da sandsynligheden ikke er den samme for, at de forskellige lastkombinationer optræder, anvendes forskellige partialkoefficienter for laster og materialegenskaber for de forskellige lastkombinationer. Vi skal ikke her gå nøjere ind på dette.

2. PERMANENT LAST

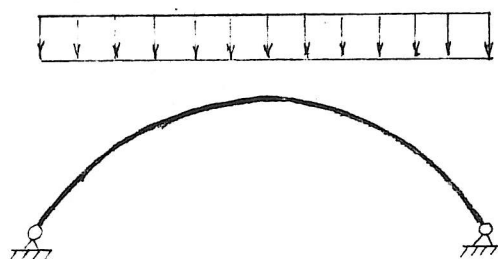
Konstruktionens egenvægt kan som regel bestemmes med ret god nøjagtighed. Ved beregningens begyndelse kendes egenvægten imidlertid ikke, og må derfor skønnes. (Til fastsættelse af den skønnede værdi kan man anvende sin erfaring eller måske empirisk udarbejdede vægt-formler). Når dimensioneringen er afsluttet, kan egenvægten beregnes, og den beregnede værdi sammenlignes med den skønnede. Det må herefter vurderes, om det er nødvendigt at foretage en omregning.

Fastlæggelse af egenvægtens størrelse og dens fordeling kan være behæftet med nogen unøjagtighed. F.eks. kan nævnes, at jernbetons rumvægt kan variere med ca. $\pm 10\%$, hvilket også gælder træs rumvægt, hvor f.eks. også træets fugtindhold (der afhænger af den relative luftfugtighed) spiller ind.

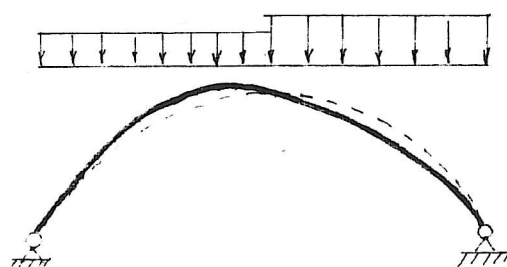
En jernbetonplade kan et sted være støbt 10% for tynd, og et andet sted 10% for tyk, dvs. fordelingen af egenvægten i sådanne tilfælde er usikker.

Opmærksomheden henledes på, at det ikke i alle tilfælde er gunstigt at operere med for store egenvægte. Der kan være tilfælde, hvor en for høj værdi for egenvægten giver en dimensionering, der er på »den usikre side». For et fladt tag med lille egenvægt vil belastningskombinationen: egenvægt + vind give en resulterende opadrettet last, og det er derfor på »den usikre side» at operere med en for stor egenvægt.

I forslaget opereres derfor også med f.eks. øvre- og nedreværdier for rumvægte, mens der i den nugældende DS 410 kun angives én værdi, der i reglen er for stor i forhold til den virkelige.



Figur 3



Figur 4

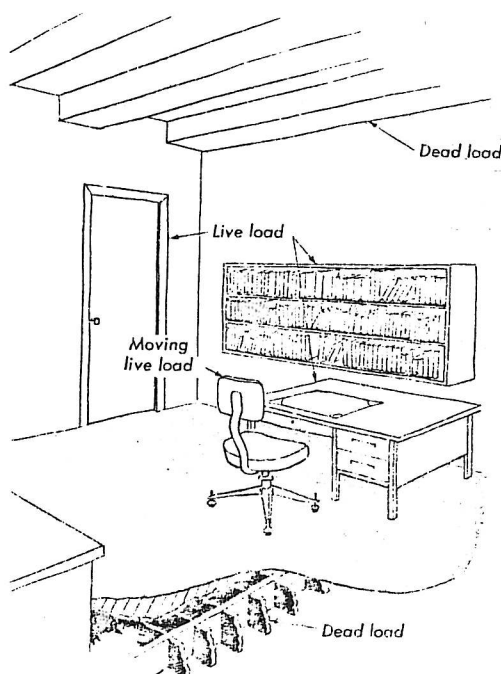
Specielt følsomme over for fejl i den permanente last er konstruktioner, hvis udformning er baseret på, at den permanente last er meget væsentlig i forhold til de øvrige laster, at den ikke varierer i størrelse og at den har uforanderlig angrebsretning og placering. Et eksempel på dette er en to-charnieres bue, se figur 3, hvor den ensformigt fordelte belastning over hele buen kun giver anledning til tryknormalkræfter, såfremt buen er udformet som en 2. grads parabel. Er den permanente last lidt mindre på den ene halvdel og lidt større på den anden, se figur 4, vil dette give anledning til væsentlige ændringer i buens spændings- og deformationsforhold.

3. NYTTTELAST

Som tidligere omtalt omfatter nyttelasten vægt af personer, møbler og inventar, maskiner, oplagrede varer og køretøjer. Endvidere kan nævnes, at vægt af installationer, slidlag, lette og ikke bærende skillevægge også henregnes til nyttelasten.

Karakteristisk for disse laster er bl.a.:

- Deres placering på den bærende konstruktion kan variere.
- Deres størrelse kan variere.
- Deres angrebsretning kan variere.
- De kan være dynamiske laster.



Figur 5.

Størrelsen for langt de fleste nyttelaster kan kun fastlægges på grundlag af et erfaringsmateriale. Endvidere er det nødvendigt at foretage nogle simplificerede forudsætninger vedr. lastfordelingen. Betragt f.eks. en almindelig etageadskillelse i en bolig, se figur 5. Det er umuligt at forudsige nøjagtigt, hvilken nyttelast der vil påvirke etageadskillelsen. Baseret på erfaring angiver normerne i sådanne tilfælde ækvivalente laster, der kan være:

- En fladelast, p (Enhed: kraft/areal - f.eks. kN/m^2)
- En linielast, \bar{p} (Enhed: kraft/længde - f.eks. kN/m)
- En enkeltkraft, P (Enhed: kraft - f.eks. kN)

Størrelsen af den ækvivalente last er afhængig af den anvendelse, lokalet har. Den ækvivalente last fra personer, møbler og inventar for en beboelseslejlighed regnes således til en jævnt fordelt lodret fladelast på $1,5 \text{ kN/m}^2$, svarende til 150 kp/m^2 , og en lodret enkeltkraft på $1,5 \text{ kN}$, svarende til 150 kp (karakteristiske værdier). Disse laster skal regnes som fri last, dvs. de skal regnes anbragt i de positioner, der giver den for den betragtede konstruktion eller konstruktionsdel farligste påvirkning. Størrelsen kan variere mellem 0 og de angivne værdier. Enkeltkraften skal ikke regnes at virke samtidigt med fladelasten. Det skal endvidere bemærkes, at den ækvivalente last i dette tilfælde regnes statisk, til trods for, at personbelastningen kan have dynamisk karakter.

Selve etageadskillelsen skal således dimensioneres for disse laster samt egenvægten.

Betragtes f.eks. fundamenterne for en beboelsesbygning indeholdende et antal lejligheder på 100 m^2 , placeret over hinanden, ville ifølge foranstående hver lejlighed give et nyttelastbidrag på $100 \cdot 150 = 15.000 \text{ kp}$. Det er ikke realistisk at tro, at personer og inventar i en lejlighed giver et nyttelastbidrag af denne størrelse, idet det ikke er realistisk at tro, at hver eneste m^2 i lejligheden skulle være belastet med $1,5 \text{ kN}$. Ydermere er det ikke sandsynligt, at hver lejlighed skulle give et så stort bidrag samtidig.

Forslaget og DS 410 giver derfor reduktioner i nyttelasten i de tilfælde, hvor konstruktionselementer får belastning fra to eller flere etager.

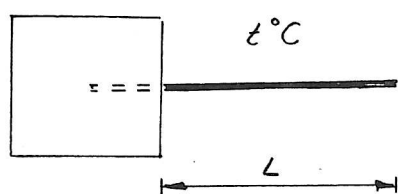
Opmærksomheden skal endvidere henledes på, at anvendelsen af bygningen kan ændres, og dermed nyttelasten på etageadskillelser, trapper, osv. Det må bl.a. blive en økonomisk vurdering, om man vil dimensionere ud fra en nyttelast, som er større end den, der svarer til den oprindelig påtænkte anvendelse af lokalerne. (Man kunne også vurdere, hvorledes en eventuel forstærkning af konstruktionen kan ske).

Nyttelasten fra maskiner bestemmes ved en karakteristisk værdi lig maskinens totalvægt i driftstilstanden, dog mindst en fladelast $p = 1,5 \text{ kN/m}^2$, og en enkeltkraft $P = 1,5 \text{ kN}$. Mange maskinbelastninger er af dynamisk karakter, og konstruktionerne burde i virkeligheden beregnes som dynamisk påvirkede. Dette ville blive meget kompliceret, og da de fleste konstruktioner har store dæmpende egenskaber, ækvivaleres den dynamiske last med en statisk, idet der til maskinens vægt lægges et stødtillæg afhængigt af maskinens størrelse. Opmærksomheden henledes på, at også vandrette kraftpåvirkninger fra maskinen kan forekomme. Endvidere bør der tages hensyn til en evt. ændring af maskinopstillingen i et lokale.

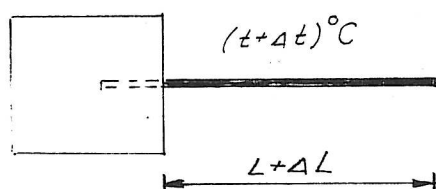
Last fra køretøjer fastsættes for bygningskonstruktioner i forslaget ud fra nogle idealiserede køretøjer med given geometri, hjultryk og fordelingsareal for dette. (For vejbroer henvises til regler og bestemmelser udfærdiget af vejdirektoratet. DS 410 giver regler både for bygningskonstruktioner og vejbroer. Med hensyn til jernbanebroer henvises til DSB's regler og bestemmelser).

Disse laster er også af dynamisk karakter, men det skal bemærkes, at de i forslaget angivne karakteristiske værdier er incl. stødtillæg.

4. NATURLAST

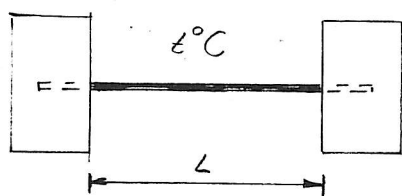


a.

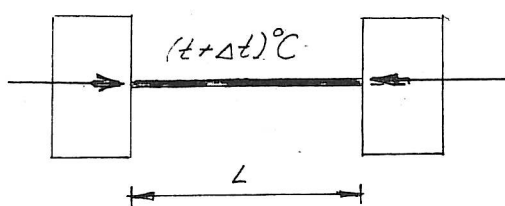


b.

Figur 6

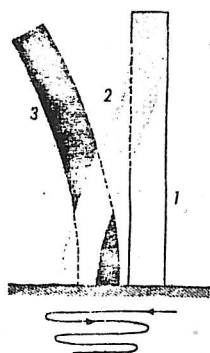


a.



b.

Figur 7



Jordskælvsbevægelser

Figur 8

Naturlaster omfatter egentlig bl.a. snelast og vindlast, men på grund af vindlastens specielle karakter behandles denne særskilt i afsnit 5. Under naturlaster hører også mere specielle påvirkninger (altså ikke egentlige laster) som f.eks. temperaturpåvirkninger og eftergiven af understøtninger. Endvidere henføres en »fiktiv« vandret masselast til naturlaster. Mere herom senere.

Snelasten hidrører fra de sne- og ismasser, der kan påvirke en bærende konstruktion. Ifølge »deres natur« er størrelsen vanskelig at fastsætte, og der regnes for en tagkonstruktion med en ækvivalent fladelast afhængig af tagets hældning. Endvidere tages hensyn til mulighederne for sneophobning (f.eks. ved shedtage).

Med hensyn til temperaturpåvirkninger på bygningskonstruktioner er forslaget (som alle andre) meget »løst« formuleret, idet der står: »Der skal tages nødvendigt hensyn til virkningerne af temperaturændring, uensartet temperatur samt svind«.

At vurdere virkningerne af temperaturpåvirkningerne er således op til ingeniøren.

Virkningerne af en temperaturpåvirkning kan illustreres ved hjælp af følgende eksempel. Betragt en stålbjælke, som i den ene ende er indstøbt i »en stor, urokkelig betonklods«, se figur 6a. Indstøbningen sker ved temperaturen $t^{\circ}\text{C}$, og stålbjælken er på dette tidspunkt spændingsløs, vandret og retliniet. (Der ses bort fra stålbjælkens egenvægt). Hele stålbjælken gives herefter en temperaturtilvækst på $\Delta t^{\circ}\text{C}$, se figur 6b, hvilket bevirker, at stålbjælken stadig forbliver vandret og retliniet - men et stykke længere. Da stålbjælken frit kan deformere sig, giver denne påvirkning ikke anledning til spændinger. Betragtes derimod en anden stålbjælke, som er indstøbt i »store, urokkelige betonklodser« ved hver ende, se figur 7a, vil en temperaturtilvækst på $\Delta t^{\circ}\text{C}$ bevirke, se figur 7b, at stålbjælken stadig forbliver vandret og retliniet, men betonklodserne forhindrer en længdeudvidelse. Betonklodserne prøver ligesom at trykke på stålbjælken for at modvirke dennes tendens til udvidelse, hvilket bevirker »indre spændinger« i denne.

Vi kan således konkludere, at den første bjælke bliver længere men spændingsløs, hvorimod den anden bjælke bevarer sin oprindelige længde, men til gengæld ikke mere er spændingsfri.

For andre bjælker med andre temperaturpåvirkninger vil man kunne få både en formforandring (deformation) og en spændingsændring. Vi skal ikke her komme nærmere ind på dette.

Eftergiven af understøtninger kan behandles analogt til temperaturpåvirkninger.

Under naturlaster henregnes også en såkaldt vandret masselast. Denne last kan betragtes som en fiktiv last, der skal erstatte diverse mere eller mindre ubestemmelige påvirkninger som f.eks.: vandrette kræfter hidrørende fra at konstruktionen bringes ud af lod på grund af uensartede sætninger af fundamenterne (se figur 2) og unøjagtig arbejdsudførelse vedr. placeringer i lodret retning. Også virkninger fra »de små jordskælv«, som optræder i Danmark, virkning illustreret i figur 8, kan regnes dækket af den vandrette masselast. Størrelsen af den vandrette masselast regnes til mindst 1,5% af den lodrette last.

Ved at regne med den vandrette masselast tager man således højde for utilsigtede vandrette påvirkninger, som ikke er indbefattet i andre laster - kort sagt: Man tør ikke dimensionere et bygværk uden også at tage vandrette laster i regning.

Hertil skal dog siges, at den i det følgende afsnit omtalte vindlast er en vandret last, og at forslaget angiver, at en konstruktion kun skal undersøges for vandret masselast, såfremt denne er større end vindlasten i den pågældende retning.

5. VINDLAST

Vindlasten er en udpræget dynamisk belastning af meget kompliceret natur, se figur 9. En korrekt angivelse af vindlasten er ikke mulig, idet vinden ændrer retning og fart både fra sted til sted og med tiden.

Der er i tidens løb udført en mængde målinger af vindhastigheden, men hvordan omsættes disse til vindbelastninger på bygværkerne, hvor også faktorer som lævirkning, overfladens ruhed m.v. må tages i regning?

Navnlig slanke bygværker, som f.eks. højhuse, master, ledninger, tårne hængebroer, er meget følsomme over for vindens dynamiske karakter, og en »dynamisk beregning» (i modsætning til en statisk beregning) bør foretages ved disse konstruktioner. Ved ikke slanke bygværker ækvivaleres vindlasten dog med en statisk last.

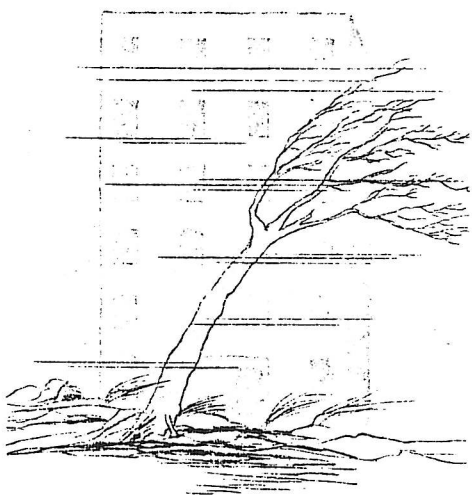
Et særligt problem med vindlasten kan være dens evne til at sætte slanke bygværker i svingninger, se figur 10. Dette kan ske ved en rytmisk hvirvelafløsning, der bevirker vandrette svingninger vinkelrette på vindretning, eller ved autovibration, dvs. svingninger i vindretningen.

Såfremt disse svingninger sker ved en frekvens, som er nær konstruktionens egenfrekvens, vil der være en resonans (jfr. TNG-kursus). Dette kan have katastrofale følger.

Som ovenfor nævnt ækvivaleres vindbelastningen oftest med en statisk belastning, idet de fleste bygværker (undtagen de ovenfor nævnte) har så store dæmpende egenskaber, at vinden med rimelig tilnærmelse kan regnes statisk.

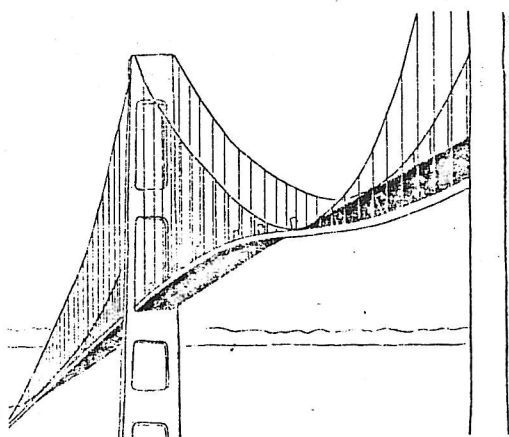
Vindbelastningen regnes i almindelighed virkende vinkelret på den betragtede flade, enten som vindtryk (dvs. ind mod fladen) eller som vindsug (dvs. bort fra fladen). Såfremt den betragtede flade har stor ruhed, må også vindens tangentielle virkning tages i regning.

For komplicerede konstruktioner/konstruktionsdele udføres ofte vind-tunnelforsøg for at fastsætte vindlasten og dennes fordeling.



Vindlast

Figur 9.



Figur 10.

6. ULYKKESLAST

Ved ulykkeslast forstås last, som påføres konstruktionen som følge af uheld og ulykker, som ikke omfattes af de foreskrevne nytte- og naturlaster. Ulykkeslaster kan være påkørselslast fra køretøjer og eksplosionslast hidrørende fra gas, trykbeholdere m.v.

Denne lasttype er ny, og er ikke indeholdt i DS 410. En række ulykker ved boligelementbyggeri har vist nødvendigheden af at få denne lasttype med. På nuværende tidspunkt mangler der nogen viden på dette område, hvilket også kommer til udtryk i forslaget.

